环渤海“滨海草带”建设与生态草牧业发展路径

侯瑞星[1]　欧阳竹[1]　刘　振[1]　来剑斌[1]　孙志刚[1]　李永华[1]　李宏伟[2]　李振声[2]　李　静[1*]
1 中国科学院地理科学与资源研究所　北京　100101
2 中国科学院遗传与发育生物研究所　北京　100101

摘要　环渤海4省份的滨海地区拥有大量中低产田和未利用盐碱地，也是我国重要的集约化养殖区域，但人工牧草种植和牛羊养殖的规模严重错位。高效利用盐碱地种植宜牧草，发展生态草牧业不仅能解决养殖所需饲草料严重不足的问题，也为发展农区生态草牧业提供范式。李振声提出的“滨海草带”理念，强调利用滨海中低产田和盐碱地，依据障碍因子的不同，适宜开展人工种草，在全面改良土壤、保障生态环境质量的同时，为牛羊养殖提供饲草保障；“滨海草带”建设将有力落实和推进我国的“藏粮于地、藏粮于技”战略，服务保障重要农产品安全和陆海统筹生态安全的国家战略。文章在分析“滨海草带”自然资源禀赋与草牧业发展需求匹配性的基础上，阐明了环渤海草牧业高质量发展目标、关键科学问题、创新模式，并探讨了生态环保效益与经济产业效益潜力。最后，从技术创新平台与能力建设、坚持生态优先高质量发展原则、做好资源配置与空间分区等方面提出了建设“滨海草带”，促进环滨海绿色发展的思考。

关键词　“滨海草带”，环渤海，循环农业，草牧业，生态优先，绿色发展

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210512001

1 我国环渤海绿色发展新需求

生态草牧业发展与环渤海自然资源禀赋相契合。环渤海地区有着面积巨大的盐碱地中低产田，传统农业的开发面临着产量低、技术模式缺乏、效益不高和水资源消耗过大等问题。针对独特的资源禀赋和生态环境特征，亟待从水资源现状的角度，突破现有盐碱地利用存在的问题[1]。以耐盐牧草种植的绿色开发，可改良盐碱，提高土壤生产力[2]，构筑、发展环渤海中低产田生态草牧业，实现环渤海地区绿色发展新需

*通信作者

资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA26050202、XDA23050102、XDA26040105），中国科学院青年创新促进会会员项目（2017073）

修改稿收到日期：2021年6月1日

求。

生态草牧业发展符合环渤海绿色产业发展需求。环渤海地区土壤盐渍化现象严重，且缺乏适宜栽培农作物品种，土地生产力薄弱[3]。因此，创新盐碱地利用模式——有机融合种草（饲草料生产）—制草（草产品加工）—养畜（畜禽养殖），打造环渤海“滨海草带”的生态草牧业发展模式，能够有效解决当前的盐碱地资源环境的瓶颈制约，进而提高水土资源利用率及农业产值，缓解区域绿色发展与传统农业产业转变的矛盾。

生态草牧业发展符合环渤海生态保护需求。生态草牧业的核心理念之一是“生态优先、绿色发展”，产业发展一定要生态和环境友好。滨海地区是陆海交错区[4,5]、咸淡水交互区，人文景观独特，在开发利用时，更要注意对资源环境的保护[6]。针对该地区资源环境特点，通过生态学原理和高技术有效结合，采用生物技术、生态工程技术，走盐碱地适应性开发、精致开发和现代产业开发的道路，系统解决农业高产、高效、安全与生态保护相结合的问题。

2 环渤海“滨海草带”绿色发展目标及关键科学问题

2.1 “滨海草带”理念的提出及其内涵

“滨海草带”理念是中国科学院院士李振声近20年来在滨海中重度盐碱地改良利用过程中逐步形成的。其内涵是以生态保护为根本，以区域内水土资源合理配置为基础，围绕滨海牧草草带绿色高效种植，以全产业链构建为导向，构建滨海现代化农牧业。其核心是依据离近海的距离远近，以及土壤盐碱含量与水盐动态变化规律，培育优质适宜的牧草和生态草，创新节水改土工程技术，发展现代栽培与养殖技术体系，创新盐碱地生态草牧业发展模式。

2.2 “滨海草带”建设与绿色发展的目标

（1）滨海脆弱带生态保护与草牧业绿色发展协同的目标。围绕“滨海草带”开发的生态效益与滨海脆弱生态区面源污染承载力之间的平衡关系，探索滨海脆弱带生态保护与牧草高效种植协同效应。在“滨海草带”的建设开发中，兼顾包括沿海滩涂、滨海潮间带、滨海重盐渍土区等生态脆弱区的维护与恢复。

（2）区域水土资源合理配置与牧草高效种植协同的目标。依据牧草适盐性，结合耕地盐渍化程度、改良治理成本等综合要素，实现效益最大化。在环渤海地区，不仅面临生态脆弱区保护的基础需求，同时由于特殊的地域特征导致了基础自然资源配置不均的制约。在水分供应的限制下，以牧草植物生理养分需求规律为基础，通过外源碳源提升土壤质量，通过保水性肥料、微生物肥料等新型肥料实现养分高效利用。

（3）传统草牧业产业转型升级与科技服务地方发展协同的目标。环渤海“滨海草带”可为我国北方传统草牧业产业从家庭散养向产业化、规范化、现代化产业转型升级进行区域示范。在农业供给侧结构性改革、实施乡村振兴战略的背景下，草牧业绿色发展已经成为我国农业发展的重要组成部分。

2.3 “滨海草带”建设与绿色发展的关键科学问题

基于环渤海“滨海草带”绿色建设与发展的需求，针对滨海脆弱带绿色发展、资源配置和产业升级三大目标，围绕以下3个关键科学问题开展针对性研究与科技攻关：

（1）牧草种植-畜禽养殖系统主要面源污染物输出量与滨海脆弱带生态系统对外源输入物质的承载及消纳能力阈值的耦合；

（2）区域适应性牧草与不同盐渍化耕地资源地力提升的经济效益匹配性，以及适应性牧草水肥需求规律及其可控性调控途径探索；

（3）畜禽营养强化为导向的牧草种植结构优化与“草-粮-牛”“草-牧-园”等新模式能量物质流动的全链解析。

3 “滨海草带”建设的创新模式

滨海地区自然资源要素配置不均，从近海到内陆可建设高盐草带—中盐草带—低盐草带。以黄河三角洲（简称“黄三角”）为例：通过优选耐盐牧草和特色植物新品种（系），集成盐碱地水肥盐调控与种植配套技术、草粮轮作技术体系、草产品加工、养殖饲料配方、奶牛/肉羊健康养殖、废弃物循环利用等技术，开展盐碱地牧草种植结构优化和高产优质种养循环模式成套技术研究与示范，最终构建具有黄三角特色的“生态草牧业科技创新模式”（图1），从而实现经济效益、生态效益和社会效益的统一，为黄三角区域乃至全国农区生态草牧业快速发展提供可借鉴、可复制推广的综合示范样板。

3.1 盐碱地中低产田草粮轮作-奶牛种养循环模式示范

针对黄三角地区土地盐碱化程度高、传统种植产量低而不稳、耐盐牧草品种资源少、优质粗饲料资源短缺和畜禽粪污环境污染等突出问题，中国科学院武汉植物园牵头集成本地野生牧草资源收集及评价、优质耐盐品种筛选、草粮结构优化、中低产田改土培肥、牧草高产栽培、水肥高效利用、病虫害绿色防控、机械化播种收割、牧草青贮加工、奶牛不同生长期营养需求模拟评价、奶牛高效养殖、废弃物循环利用和农业面源污染阻控等关键技术，在中轻度盐碱地进行规模化草粮轮作-奶牛种养循环示范基地建设及技术示范。

3.2 盐碱地“草-牧-园”高产优质种养循环模式示范

针对农区种植结构单一、种养脱节、羊饲养粗放、饲草料供给不足等问题，在高含盐量盐碱地区域，中国科学院地理科学与资源研究所牵头开展耐盐牧草种植、草产品加工示范；利用信息化技术，获取播种、施肥、灌溉、收获、青贮、饲喂等各个环节的数据信息；引入优良肉羊品种，开展肉羊不同生长期营养需求与饲草料种植的模拟评价；获取土壤质量与安全等信息，并进行肉羊高效养殖和废弃物循环利用的技术集成；建设盐碱地高产优质“草-牧-园”种养循环模式示范基地，开展种养循环模式和成套技术的示范。

3.3 黄三角草牧业研究基地建设和产业模式研究

针对黄三角的土地资源、水资源和生态环境条件，依据资源高效、生态环境友好、经济效益显著的目标要求，中国科学院植物研究所牵头在不同盐分条件下建立牧草与特色种质资源的资源圃，并构建资源收集、评价、选育研究技术平台；开展优选主要牧草资源的耐盐、耗水、需肥指标评价试验的平台及室内育种加速器条件下的快速繁育平台，利用林果行间闲置土地引入适宜间作的耐中重度盐碱草种，形成林草间作生产模式。根据黄三

图1 打造“滨海草带”，保护黄河入海口生态，带动产业发展

Figure 1 Coastal grass belt for both ecological conservation and industrial development of the Yellow River Delta

角资源禀赋、草畜结构状况，进行“草-粮-牛”“草-牧-园”2个种养模式的区域适应性评价；优化空间布局，构建黄三角全域的资源环境配套数据库；提出黄三角生态草牧业种养循环的产业布局图、产业发展方案和配套政策，推动黄三角“滨海草带”建设。

4 “滨海草带”建设的生态环保效益

4.1 土壤改良作用

种植牧草后能有效改良土壤物理性状和化学性质。不同牧草改良土壤的效果不同，豆科牧草的改良效果优于禾本科牧草。与黄泛平原风沙化土相比，牧草种植区土壤容重减小，土壤总孔隙度、毛管孔隙度与非毛管孔隙度增加。豆科牧草可以直接固氮，同时其根系残体在土壤中积累可增加土壤有机质含量。土壤养分含量随着牧草种植时间的增加逐渐增大，随着土壤耕层的加深而不断降低[7]。耐盐牧草配施土壤改良剂降低了碱性土壤 0—20 cm 土层的碱化度、pH 值和代换性钠离子（Na^+） 含量；同时，也降低碳酸氢根离子（HCO_3^-）和碳酸根离子（CO_3^{2-}）含量、钾离子（K^+）和钠离子（Na^+）含量[8]

4.2 水土保持功能

我国雨季多集中在每年 6—9 月牧草旺盛生长期，种植牧草能有效地减少水土流失。土壤容重和孔隙度是土壤的基本物理性状，二者直接影响土壤蓄水和通气性能，而土壤良好的物理性状对提高土壤的抗蚀性与抗冲性具有重要意义。植被可明显控制水土流失；但受植被生长发育状况及降雨、地形等自然条件的影响，其水土保持效益有所不同。在雨量丰富时，牧草的保土能力为作物的 300—800 倍；草地可截水量为降水量的 60%—90%[9]。在同等降雨条件下，种植牧草的径流量比裸地减少了 95%。

4.3 其他生态服务功能

（1）种草可调节土壤温度和气温。一般夏天草地比裸地可降低气温 2℃—6℃，降低土壤温度 12℃—22℃，冬季可提高气温 4℃—6℃。

（2）草地可提高空气湿度 10%—20%，减少土壤水分蒸发 60%—80%[10]。

（3）种草可净化空气，其可吸收空气中的二氧化碳（CO_2）和灰尘，分解空气与土壤中二氧化硫（SO_2）、盐酸（HCl）、一氧化碳（CO）、氟化氢（HF）等有毒物质。

（4）牧草与作物轮作打破了虫害和病害的发作周期和寄生关系，有助于杂草控制和减少农药的使用 [11]，在实现作物害虫的生态防治具有潜在应用价值。

5 “滨海草带”建设的经济产业效益

5.1 生产力的功能

新时代我国居民生活水平的提高和消费结构的转变，刺激了畜牧业的迅速发展。饲料资源相对匮乏，优质青绿饲草不足已经成为制约我国畜牧业持续发展的重要因素。研究表明，牧草比粮食作物能更有效地利用光能、土地等自然资源。“秋冬季黑麦-春季青饲玉米-夏季青饲玉米”种植模式可以实现青绿饲草一年三收，比常规的小麦-玉米模式增产 10.3%，光能利用率提高 35.0%，水分利用效率提高 16.7%[12]。另外，牧草饲料作物对土地的要求不高；在不宜种粮的地区种植牧草，在获得一定饲料产量的同时，还可以改良土壤，防止水土流失，具有巨大的社会经济效益和生态效益。

牧草营养全面，转化率高。相同的生长季节，牧草可以获得比农作物和传统饲料更高的营养产量和蛋白质含量。例如：紫花苜蓿的产奶净能和粗蛋白含量是大豆（含秸秆）的 2.5 倍和 2.12 倍，赖氨酸含量是玉米的 4—5 倍[13,14]；传统饲料中一般禾本科干草的蛋白质含量为 13%—15%，而豆科牧草达 18%—24%，且牧草中蛋白质更容易被家畜消化吸收。犊牛投喂试验表明，紫花苜蓿蛋白质的利用率是 54.7%，而大豆的

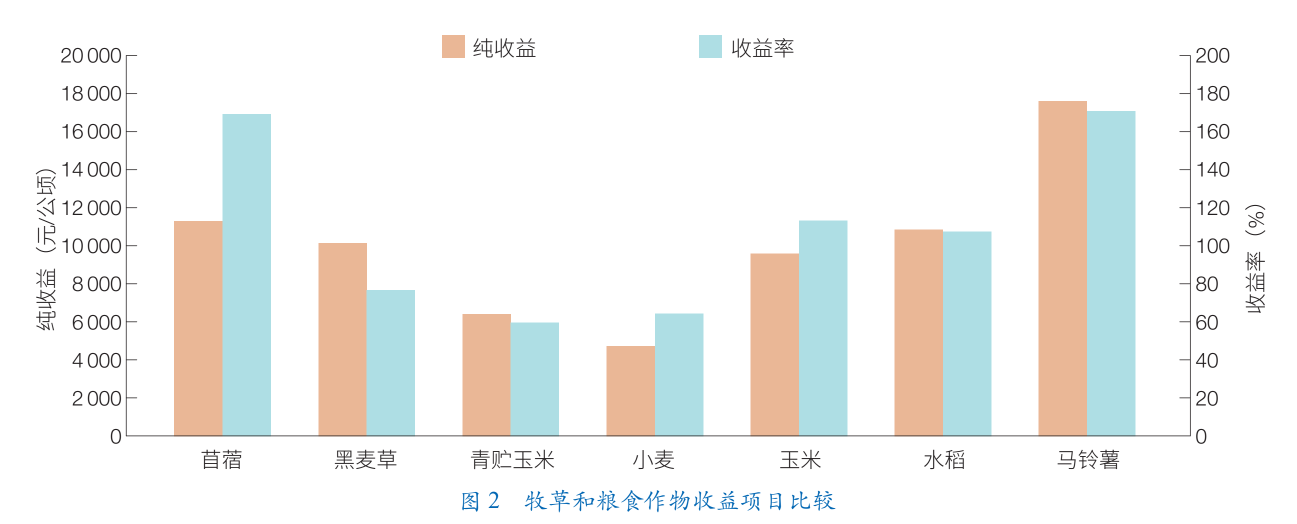


图 2　牧草和粮食作物收益项目比较

Figure 2　Comparison of income items of forage and grain crops

蛋白质利用率只有20.3%。

5.2 草产业的发展

农区种草是改进农业系统、保证粮食安全的重大步骤。国外发达国家构建了合理的“粮-经-饲”三元农业产业结构，饲草种植占种植业的1/3，牛羊等反刍家畜在畜牧业中的比例最高能达80%以上，而我国仅为25%左右[15]。发展农区草业将酝酿一次对耕地农业的革命；其不仅为改进农业系统提供源动力，而且可发掘农区草地资源，解放巨大食物资源潜力，实现人-畜分粮，保证粮食安全。

随着我国社会经济水平的不断提高，人民对肉蛋奶的需求正不断增加，而将牧草产业耦合到畜牧业将在很大程度上能破解这一难题。以黄三角为例，该地区家畜以牛、羊等草食性动物为主，在其北部沿海地区，适宜发展苜蓿、高丹草、多年生黑麦草等耐盐碱的牧草作物；而土壤质量较好的南部平原，适宜发展饲料玉米和饲草加工业。

此外，发展牧草产业需要提高科技投入。目前我国单位面积草原的产值仅相当于美国的1/20，澳大利亚的1/10，荷兰的1/50；草牧业科技贡献率不足30%，而发达国家已达到70%以上[14,15]。尽管近年来我国牧草产量要高于美国，但是牧草生产效率波动较大，优质牧草生产量及商品化程度仍然较低。以我国苜蓿生产为例，种子费、人工费、肥料费、水电费和其他费用分别为670.05、1 117.95、2 059.2、563.7 和 4 156.95 元/公顷，均高于美国苜蓿生产相应的成本；同时，我国苜蓿生产机械化程度相对较低，苜蓿生产机械费在我国为 2 384.55 元/公顷，而美国为 4 212.78 元/公顷[16,17]。

6 建设环渤海“滨海草带”，促进滨海生态绿色发展的思考

6.1 加强技术创新平台与能力建设

（1）环渤海“滨海草带”建设需要聚集各类科技创新资源。聚集和发挥好国内优势科研机构相关领域的优秀团队落地扎根研究区，同时中国科学院也与地方政府、大学、科研院所及企业联合，形成一个服务环渤海、东部沿海地区的现代农业发展和美丽乡村建设的科技创新服务平台。

（2）环渤海“滨海草带”建设与草牧业绿色发展是一个系统工程，其中人才至关重要，在建设过程中需要完善人才结构，实现四个“并重”。管理型人才与研发类人才并重，技术研发人才与工程类人才并重，试验示范类人才与产业经营人才并重，人才使用

与培养并重，从而为环渤海“滨海草带”及草牧业可持续发展提供人才储备。

（3）环渤海“滨海草带”建设需要集聚各类资金，提升项目示范推广范围和效果。① 积极承接国家重点研发计划、各省重点研发计划及中国科学院战略性先导科技专项等项目资金，争取各级各部门农业专项资金和有关园区、平台、人才等方面的资金支持。② 牵引地方政府加大各主要示范区所在县区的投入。③ 吸引社会资本。发挥各类企业和基金的作用，吸引社会资本参与环渤海“滨海草带”建设发展。

6.2 坚持走生态优先与高质量发展的道路

（1）在环渤海地区中低产田和未利用盐碱地资源的开发利用中，要坚持生态保护优先，强化生态环境保护的意识。① 对建设区可利用土地生态环境现状进行评估，确定生态系统脆弱性原因及等级，对不同等级的生态环境提出不同开发模式与生态补偿目标。② 制定生态系统生产总值（GEP）核算体系，建立适应环渤海“滨海草带”建设的 GEP 测算方法及指标体系，测算草牧业发展带来的 GEP，综合评估“滨海草带”建设的可持续性。

（2）环渤海“滨海草带”建设要走高质量发展的路子，形成绿色高效滨海草牧业发展模式。引入或培养较好的适生饲草品种和草食动物资源，但是要防止生物入侵；发展滨海草牧业种质资源库和现代种业产业，构建“滨海草带”种业—种植—养殖—加工—市场一体化产业体系；开发高附加值高品质绿色产品；充分利用信息技术创新新业态模式，支撑环渤海地区现代农业快速发展与乡村振兴。

（3）依据环渤海地区的自然禀赋及中低产田和盐碱地的分布规律，坚持生态优先的原则，做好总体规划和分区。通过空间布局优化，选择优势队伍，在代表类型区建立试验示范基地，确保分类分步实施；多点布局，形成基地保障网络，筛选空间差异化的技术模式开展集成与示范推广；由点到面，快速构建环渤海“滨海草带”与特色草牧业发展模式。

6.3 推进现代智慧农牧业模式的发展

大数据和智慧农牧业是未来农牧业发展的必然趋势。现代智慧农牧业模式是传统农牧业特别是环渤海“滨海草带”发展的加速器，采用数字化服务现代农牧业发展的全过程，实现环渤海滨海草牧业节本增效和高质量发展。然而，目前环渤海滨海盐碱地数据获取、管理与盐碱地智慧农牧业应用系统开发与应用严重不足；在数字经济发展的洪流中，数字红利在盐碱地农牧业发展中缺失严重。

因此，要将大数据和智慧农牧业技术深度融入环渤海“滨海草带”建设中，促进盐碱地草牧业高质量发展。亟待在 3 个方面开展扎实有效的工作：① 建设环渤海“滨海草带”数据库，包括盐碱地本底数据（土壤、水、气象等）、农牧业资源数据（特色盐碱地农牧业生物资源信息等）、科研活动数据（田间定位试验观测、室内测试分析等）、生产过程管理数据（牧草与畜禽等全生育期监测等）、装备与设施管理数据（设备和实施工况监控、远程诊断、服务调度等）、产品与食品安全管理数据（产地环境、储藏加工、物流信息等）等。② 开发环渤海“滨海草带”智慧农牧业应用系统，服务盐碱地精准分区和示范区分类建设、牧草精准种植、畜禽精准管理、草牧业系统诊断与智能化决策。③ 在基础较好的区域，打造环渤海“滨海草带”智慧农牧业模式，建立集中展示性好、应用性强、可复制可推广的智慧农牧业示范区。

参考文献

1 国家统计局. 中国统计年鉴2018. 北京: 中国统计出版社, 2018.

2 高树琴, 王竑晟, 段瑞, 等. 关于加大在中低产田发展草牧业的思考. 中国科学院院刊, 2020, 35(2): 166-174.

3 于莉莉, 孙立双, 张丹华, 等. 基于Google Earth Engine的环渤海地区土地覆盖分类. 应用生态学报, 2020, 31(12):

4091-4098.

4 Guo Z F, Yan C Z, Wang Z S, et al. Quantitative identification of nitrate sources in a coastal peri-urban watershed using hydrogeochemical indicators and dual isotopes together with the statistical approaches. Chemosphere, 2020, 243: 125364.

5 Zhou D, Yu M, Yu J B, et al. Impacts of inland pollution input on coastal water quality of the Bohai Sea. Science of the Total Environment, 2021, 765: 142691.

6 姜磊. 黄河三角洲近岸海域生态环境调查及变化趋势分析. 济南: 济南大学, 2020.

7 董智, 李红丽, 任国勇, 等. 黄泛平原风沙化土地种植牧草改良土壤效果研究. 中国草地学报, 2008, 30(3): 84-87.

8 沈艳, 谢应忠, 兰剑, 等. 脱硫废弃物和耐盐牧草对碱化土壤的改良效果. 西北农业学报, 2011, 20(3): 95-98.

9 徐明岗, 张久权, 文石林. 南方红壤丘陵区人工草地的合理施肥. 中国草地, 1998, (1): 62-66.

10 李正民, 舒惠玲, 樊水根. 红壤岗地上种草经济与生态效益研究. 四川草原, 1996, (4): 9-12.

11 郭勇军, 郑逊麟, 李择桂. 牧草对土壤健康与农业可持续发展的作用. 世界热带农业信息, 2020, (10): 24-25.

12 潘国艳, 欧阳竹, 李鹏. 华北平原主要优质牧草的种植模式与产业发展方向. 资源科学, 2007, 29(2): 15-20.

13 李金宝. 牧草在农区畜牧业中的作用. 四川畜牧兽医, 2002, 29(11): 24-25.

14 石自忠, 王明利, 胡向东, 等. 我国牧草种植成本收益变化与比较. 草业科学, 2017, 34(4): 902-911.

15 王明利. 有效破解粮食安全问题的新思路：着力发展牧草产业. 中国农村经济, 2015, (12): 63-74.

16 石自忠, 王明利, 刘亚钊. 逆全球化背景下我国牧草产业发展的战略选择. 中国农业科技导报, 2019, 21(2): 1-8.

17 李新一, 程晨, 尹晓飞, 等. 中外草牧业发展历程、重点与中国草牧业发展措施. 草原与草业, 2020, 32(4): 6-13.

“Coastal Grass Belt” as Paradigm for Grass-based Livestock Husbandry around Bohai Bay

HOU Ruixing[1] OUYANG Zhu[1] LIU Zhen[1] LAI Jianbin[1] SUN Zhigang[1]
LI Yonghua[1] LI Hongwei[2] LI Zhensheng[2] LI Jing[1*]
(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China;
2 Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract One of the burning questions of food security in current China is how to produce sufficient forage products and animal feeds. The limited arable land has to be devoted to cereal production, and exploring more terrestrial land is a prerequisite for the sustainable forage production and the development of grass-based livestock husbandry. Bohai rim is consist of coastal line of the North China Plain, which has a significant amount of medium-low yielding fields and unutilized saline-alkali land as well as intensive livestock production. In this study, a new concept of “Coastal Grass Belt”, proposed by LI Zhensheng, an academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), was introduced, which addresses how to develop grass/forage farming system according to the severity of salinity. This concept can not only improve soil quality but also provide sufficient forage for livestock. Meanwhile, the concept is also aligned with China’s national strategies of storing grain in land and in agricultural technology to ensure the self-sufficiency of important agricultural products and the integration of the security of land and marine ecosystems. This paper provides a detailed description

*Corresponding author

of the “Coastal Grass Belt” concept, elaborates its goals, key scientific issues and innovative modes, and analyzes the ecological environmental and economic-industrial benefits. Finally, the much-needed innovation platforms, agro-industry modes and policies for the development of “Coastal Grass Belt” are discussed.

Keywords Coastal Grass Belt, Bohai rim, circular agriculture, grass-based livestock husbandry, ecology priority, green development



侯瑞星 中国科学院地理科学与资源研究所副研究员，中国科学院禹城综合试验站副站长。主要研究方向：农田土壤地力提升，盐碱地改良，农田生态系统对气候变化的响应与适应机制。E-mail: hourx@igsnrr.ac.cn

HOU Ruixing Associate Professor of the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), and Deputy Director of the Yucheng Comprehensive Experimental Station, CAS. His main research directions are the soil fertility enhancement, the improvement of saline land, response and adaptation mechanism of farmland ecosystem to climate change. E-mail: hourx@igsnrr.ac.cn



李 静 中国科学院地理科学与资源研究所副研究员，中国科学院青年创新促进会会员。主要研究方向：农田土壤氮循环及环境效应，盐碱地改良，循环农业可持续发展。E-mail: jingli@igsnrr.ac.cn

LI Jing Associate Professor of the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), and Member of Youth Innovation Promotion Association of CAS. Her main research directions are nitrogen cycling in farmland soil and its environmental effects, the improvement of saline land, and sustainable development of circular agriculture. E-mail: jingli@igsnrr.ac.cn

■责任编辑：岳凌生